

*Учреждение Российской академии наук Институт механики
и машиностроения Казанского научного центра РАН*

О НАУЧНОМ НАСЛЕДИИ Х.М. МУШТАРИ

1. 110-летие со дня рождения и 30-летие ухода из жизни ученого – даты, когда его имя становится достоянием истории, а творения подвергаются суровому испытанию временем. Если для нас, старшего поколения, – это воспоминания об общении с таким ученым, наша молодость, научные устремления и надежды, то для нынешних студентов – это действительно имя из неблизкой истории.



Это время, когда определяется, кто чего стоил. Уже не столь важно, какие посты ученый занимал, членом каких советов, комитетов, академий был (или не был). Остаются труды и, возможно, еще ученики. А далее – только труды. Это сухой остаток, научное наследие.

Большое везение для ученого, если даже один его результат остается в науке и таким образом относится к разряду классических. Основной объем трудов бесследно исчезает, растворившись в увеличивающихся массивах знаний в последующем. Их удел – забвение. Но и они могут иметь значение в свое время и служить отправной точкой для других исследователей. Некий парадокс состоит в том, что чаще в науке остаются простые красивые модели и соотношения, полученные в эпоху логарифмической линейки (например, критических нагрузок по линейной теории). Они служат асимптотиками, предельными значениями.

В науку вошли «уравнения Муштари – Доннелла», или в алфавитном порядке «уравнения Доннелла – Муштари». В современной мировой литературе встречаются также определения «Donnell – Mushtari – Vlasov equations». Известна также «формула Муштари» для определения критического значения внешнего перепада давления на сферическую оболочку.

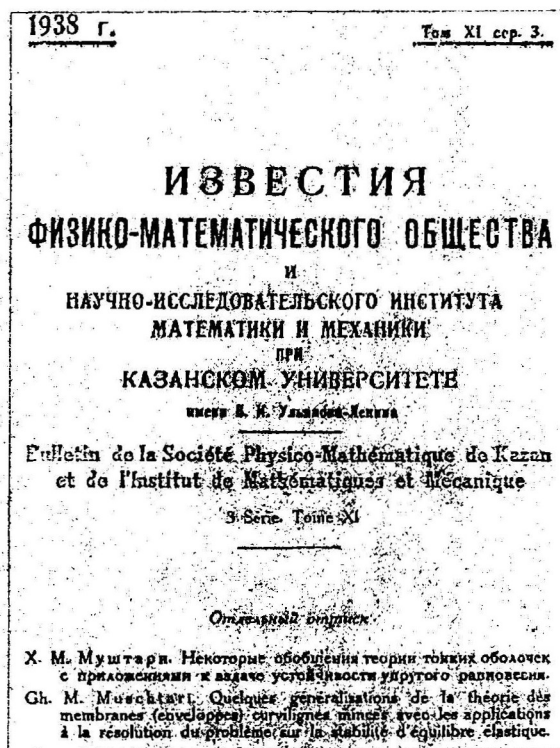
Об этих результатах я скажу более подробно далее. Но ими не ограничивается перечень результатов Муштари, сохраняющихся в теории оболочек. Например, В.В. Новожилов указывает на работы по прочности и устойчивости оболочек, имеющих начальные отклонения от идеальной формы. Э.И. Григолюк особо отмечает работу, где в задаче устойчивости сферического купола впервые производится варьирование не только прогиба в его центре, но и радиуса сопряжения прогнутой зоны с остальной частью. Оба они на-

зывали Х.М. Муштари «выдающимся советским специалистом по теории оболочек». Их оценки сохраняют силу и сегодня.



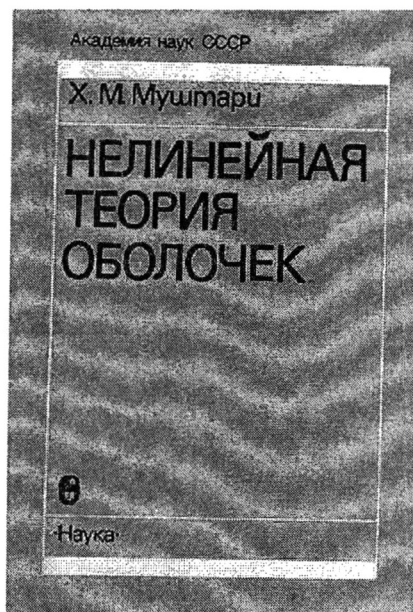
2. Хамид Музафарович Муштари был ровесником страшного и прекрасного двадцатого века, века больших и малых войн, революций, голода, разрухи, репрессий, века научно-технической революции, изменившей мир. Он был свидетелем и участником многих его событий. Его творчески активный возраст пришелся на золотой период теории оболочек, когда он совершил два подвига – основал нелинейную теорию пологих оболочек, на ее основе проведя актуальные исследования устойчивости и изгиба тонкостенных элементов конструкций, и создал научную школу. Казанская школа теории

оболочек оказала существенное влияние на развитие этой науки в Советском Союзе и мире.



Наиболее важным периодом для Х.М. Муштари была первая половина 1930-х годов. Отметим, в Казани, насколько известно, никогда не занимались механикой твердого деформируемого тела (занимались аналитической механикой – П.И. Котельников, Е.А. Болотов, Н.Д. Зейлигер, гидромеханикой – А.Ф. Попов, И.С. Громека, Г.Н. Шебуев, Алексей Лаврентьевич Лаврентьев и др.). Х.М. Муштари был первым, занявшимся в Казани теорией упругости – задачей кручения бруса разных форм поперечного сечения концевыми моментами (первая публикация в 1933 г.) и далее той же задачей для тонкостенной цилиндрической оболочки (1934 г.). И это не-

смотря на то, что его кандидатская диссертация, выполненная под руководством С.А. Чаплыгина, была посвящена задаче аналитической механики. Цикл работ по теории оболочек стал докторской диссертацией, опубликованной в 1938 году и защищенной в том же году.



Редакционная коллегия:

академик И. Ф. Образцов (отв. редактор),
доктор физико-математических наук М. А. Ильгамов
(зам. отв. редактора),
доктор физико-математических наук М. С. Ганиева
(отв. секретарь),
член-корреспондент АН СССР И. И. Ворович,
доктор физико-математических наук Н. С. Ганиев,
член-корреспондент АН СССР Э. И. Григорюк,
член-корреспондент АН СССР А. А. Ильюшин,
доктор технических наук М. С. Корнишин,
доктор физико-математических наук А. В. Саченков,
доктор физико-математических наук И. Г. Терезулов.

Именно в тридцатые годы были начаты научные направления, которые определили лицо механики в Казани в последующем. Это

теория устойчивости движения (Н.Г. Четаев). К этому мощному направлению имеет отношение и зарождение направления обратных краевых задач гидромеханики (Г.Г. Тумашев). Могут быть названы вторые имена в этих направлениях: Г.В. Каменков, К.З. Галимов, М.Т. Нужин. Такое наблюдалось не только в механике. Отметим, например, направление краевых задач в математике (Федор Дмитриевич Гахов) и т. д.

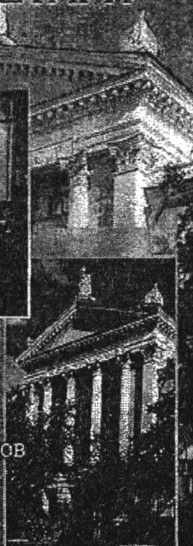
Тридцатые годы – это время пассионарного выброса общественной и государственной энергии в Советском Союзе, выразившейся в беспрецедентных темпах экономического, военно-промышленного, образовательного и научного развития, крылатых лозунгах «учиться, учиться, учиться», «летать быстрее и выше».

Эта эпоха, ее дух, энтузиазм с необычайно эмоциональной силой переданы в музыке Исаака Дунаевского, также ровесника этого века («мы рождены, чтоб сказку сделать былью»). И героическое, и трагическое были рядом.

3. Существует хорошая традиция публикации воспоминаний об ушедших учителях и коллегах. В связи с 200-летием Казанского университета опубликован прекрасный цикл работ Н.Б. Ильинского о Михаиле Тихоновиче Нужине и А.В. Кузнецова о Гумере Галеевиче Тумашеве и другие воспоминания. Есть сборник воспоминаний о М.Т. Нужине, книга о Н.Г. Четаеве (автор – проф. В.Н. Скимель).

Сейчас уже написано немало и о Х.М. Муштари. Это статья о жизни и трудах в сборнике его работ. И.И. Ворович высоко оценил это издание. Э.И. Григолюк высказывал сожаление, что мы не включили в него работы по устойчивости сферического купола. Имеется книга о Х.М. Муштари. О нем говорится также в книге «Портреты современников».

ПРОФЕССОР
Х.М. МУШТАРИ



М. А. Илбгамов

М.А. Илбгамов

ПОРТРЕТЫ
СОВРЕМЕННИКОВ

4. Труды по теории пологих оболочек (1934 – 1938, 1956).

Смысл теории пологих оболочек покажем на простейшем примере линейного изгиба длинной цилиндрической оболочки (кольца) под действием распределенного давления. Введем безразмерные величины компонент перемещения, силовых факторов

$$v, w = \frac{V, W}{R}, \quad t, q = \frac{(T, Q)R^2}{D}, \quad m = \frac{MR}{D}, \quad z = \frac{ZR^3}{D}.$$

Хорошим приближением в задаче преимущественного изгиба линейчатых поверхностей является равенство нулю относительного удлинения $\varepsilon = dv/d\theta + w$. Тогда изгибающий момент

$$m = \partial^2 w / \partial \theta^2 + w \quad (1)$$

Уравнения равновесия

$$\frac{dt}{d\theta} + q = 0, \quad \frac{dq}{d\theta} - t = z, \quad \frac{dm}{d\theta} = q \quad (2)$$

с учетом (1) приводятся к одному уравнению

$$\underbrace{\frac{d^3}{d\theta^3} \left(\frac{d^2 w}{d\theta^2} + w \right)}_{dt/d\theta} + \underbrace{\frac{d}{d\theta} \left(\frac{d^2 w}{d\theta^2} + w \right)}_q = \frac{dz}{d\theta}. \quad (3)$$

С упрощенным выражением для изменения кривизны (3) приобретает вид

$$\frac{d^5 w}{d\theta^5} + \frac{d^3 w}{d\theta^3} = \frac{dz}{d\theta}, \quad (4)$$

причем в (4) второй член остается от q . Аналогом этого уравнения и пользовались до Х.М. Муштари. Но ведь точно такой же член в первых скобках в (3) уже отброшен. Тогда

$$\frac{d^5 w_s}{d\theta^5} = \frac{dz}{d\theta}. \quad (5)$$

Поэтому Х.М. Муштари пренебрег в первых двух уравнениях теории оболочек перерезывающими силами. Оценки в системе нели-

нейных уравнений носили качественный характер, т. к. в них нельзя явно увидеть порядки величин, как в данной простой задаче. В ней легко можно найти и погрешность упрощенной теории. Если $z = z_0 \cos n\theta$, $w = w_0 \cos n\theta$, то отношение w_s по (5) к w по (3) равно

$$\frac{w_s}{w} = \frac{(n^2 - 1)^2}{n^4}. \quad (6)$$

Таким образом, с увеличением числа волн по окружности решение задачи в варианте теории пологих оболочек (5) стремится к решению полного уравнения (3) снизу. Как известно, при потере устойчивости оболочки во многих случаях $n \sim \sqrt{R/h}$, где h – толщина стенки (если $n \sim \sqrt{R/h}$, то $n \sim 10$ и (6) стремится к единице).

Примечательно, что в последних работах (1973 – 1974), т. е. через 40 лет, Х.М. Мушари разработал вариант расширения области применения нелинейной теории пологих оболочек. При этом определенные из теории пологих оболочек прогиб w_s и перерезывающая сила q_s подставляются в отброшенные ранее члены в выражениях

$$m = \frac{d^2 w}{d\theta^2} + w_s, \quad q = \frac{d^3 w}{d\theta^3} + \frac{dw_s}{d\theta},$$

и первое уравнение принимает вид

$$dt/d\theta = -q_s.$$

Следовательно, такое уточнение сводится к введению некоторой распределенной силы.

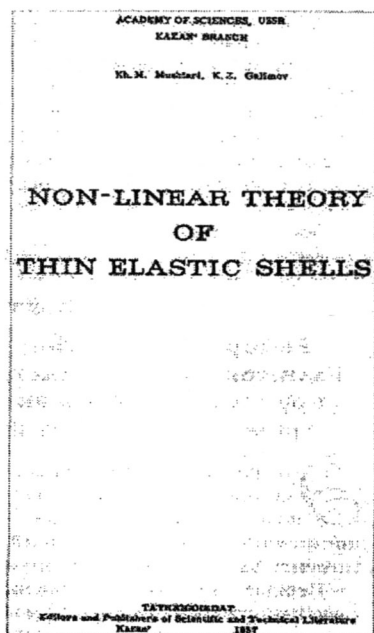
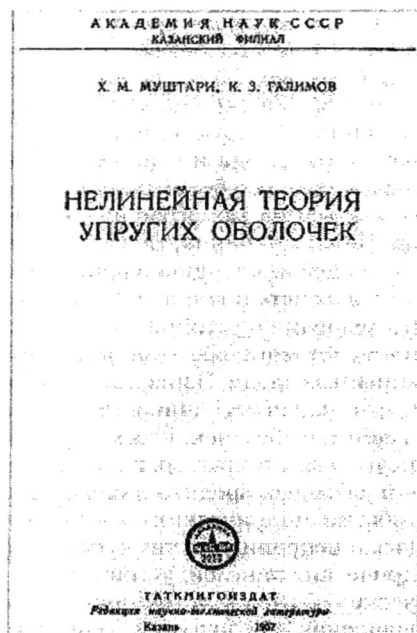
Следующим шагом в развитии теории пологих оболочек явилась работа В.З. Власова (1944), в которой отбрасываются не только перерезывающие силы в первых двух уравнениях и упрощаются выражения для кривизны и кручения, но и пренебрегается некоторыми членами, содержащими Гауссову кривизну срединной поверхности.

5. Устойчивость сферической оболочки. Как известно, исходя из линейной теории, Р. Цолли (1915) и Л.С. Лейбензон (1917) определили критическое значение внешнего давления на сферическую оболочку $P_E = CE(h/R)^2$, $C = 1.21$ ($\nu = 0.3$). Однако тщательные эксперименты дают в три раза меньшее значение C . Такая разница вызвала разносторонние исследования, жаркие дискуссии, порой драматические.

Т. Карман и Цянь, специалисты более по аэродинамике, чем по теории оболочек, дали объяснение этому расхождению (1939). Они впервые ввели понятие о верхней и нижней критических нагрузках, рассматривая явление «хлопка», что явилось важнейшим шагом в нелинейной теории. В работе Х.М. Муштари 1950 года критически рассматриваются эта и другие работы (например, работа Фридрихса, 1941 г.). Отмечается, что Т. Карман и Цянь допустили две ошибки, приняв деформацию в окружном направлении равной нулю (что приводит к завышению значения критического давления). Кроме того, минимизацию функционала полной энергии они подменили минимизацией давления. В результате этих двух ошибок «эти авторы случайно получили теоретическое решение, дающее слишком даже хорошее совпадение с экспериментальными данными». В «формуле Муштари» коэффициент $C = 0.38$. Она дает превышение над экспериментальным результатом лишь на 22 % и до сих пор используется при расчетах глубоководных аппаратов во всем мире. Более поздние исследования выявили слабую зависимость C от толщины стенки, что еще более сблизило результаты расчетов и экспериментов.

Представляется, что две указанные ошибки в работе Т. Кармана и Цяня – скорее недостатки, а главное, в их работе было понятие о верхней и нижней критических нагрузках.

6. И, наконец, о монографии Х.М. Муштари и К.З. Галимова, ставшей настольной книгой не одного поколения специалистов по нелинейной теории оболочек.



Вот отзыв одного из ведущих ученых в этой области В. Койтера: «она является первой книгой по нелинейной теории оболочек; дает полное представление о состоянии знаний в этой области...».

Опубликованный отзыв Цяня Сюе-сяня и Ху Хай-чана: «Выпуск в свет этой монографии означает новый этап развития нелинейной теории..., одной из особенностей является строгое и систематическое изложение».

Здесь нужно сказать о легендарной личности Цяня. Приехавший из Шанхая в США Цянь учился у С.П. Тимошенко и Т. Кармана. Последний стал его научным руководителем. Как специалисты по аэродинамике и устойчивости конструкций они были привлечены к изучению немецких разработок в ракетной технике и в 1945 г.

В Германии пересекались с нашими специалистами (В.П. Глушко, С.П. Королев и др.). Китайские власти добились возвращения Цяня на Родину в 1955 году, где он стал директором Института механики Академии наук КНР. В этом качестве в 1956 году он первым из советских ученых пригласил Х.М. Муштари посетить Пекин. Цянь внес огромный вклад в создание ракетной и атомной техники Китая, сыграл такую же роль, как у нас М.В. Келдыш, был заместителем министра обороны, вице-президентом Академии наук.

October 5, 1981

Professor M. A. Ilgamov
Vice-Chairman of the Presidium
of Kazan Branch of the USSR
Academy of Sciences
Siberian track, 10
420029 Kazan USSR

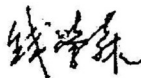
Respected Professor Ilgamov:

Thank you for your letter of August 25, 1981.

I regret the passing of Professor Kh. M. Mushtari.

Best regards.

Sincerely yours,



H. S. Tsien

Обо всем этом написано в книге М.А. Ильгамова «Портреты современников». Здесь приводится последнее письмо Цяня мне (05.10.1981), где он выражает свое соболезнование в связи с кончиной Хамида Музафаровича.

Вернемся к его отзыву на книгу Х.М. Муштари и К.З. Галимова, где особо подчеркивается важность учета загрузки оболочки

(«мертвая нагрузка» или испытательная машина, где задается перемещение), по существу – поведения рабочей среды около оболочки, хотя нет в нем таких слов.

Почти полвека назад при поддержке Х.М. Муштари и М.Т. Нужина в Казанском физико-техническом институте были начаты исследования динамики оболочек, находящихся в контакте с трехмерным массивом (твердое ракетное топливо), жидкостью и газом. Анализ реальных конструкций (чем мы занимались) обязательно требует комплексного подхода, поэтому в наших исследованиях присутствовали все три направления развития механики в Казани (устойчивость движения или динамика, оболочки и трехмерная теория упругости, механика жидкости и газа). Нам было трудно не только из-за сложностей принципиального и технического характера такой работы (когда они возрастают на порядок по сравнению со случаем поведения оболочки при заданных нагрузках), но и при публикациях и защитах диссертаций. К сожалению, мы слишком поздно поняли отзыв Цяня. Если бы вовремя мы опирались на его авторитетное мнение, возможно, нам было бы немного легче.

7. Научная школа, как любой живой организм, когда-то рождается, живет, умирает. К началу 1950-х годов образовалась группа исследователей в Казанском физико-техническом институте АН СССР и КГУ. Условно это время можно принять за начало признания в научной сфере казанской школы теории оболочек. Непосредственно с Х.М. Муштари работали в разные годы следующие ее представители: К.З. Галимов, С.Г. Винокуров, И.В. Свирский, Р.Г. Суркин, М.С. Корнишин, Н.С. Ганиев, А.В. Саченков, Н.И. Кривошеев, Ф.С. Исанбаева, И.Г. Терегулов, М.С. Ганеева, С.В. Прохоров, В.В. Ершов, М.Е. Никифоров, М.А. Ильгамов, Н.К. Галимов (мл.), А.Г. Терегулов (мл.), А.М. Гольденштейн, И.Г. Амирханов.



Здесь надо особо отметить М.С. Корнишина, 90-летие которого исполняется в этом году, наиболее тесно и долго сотрудничавшего с Х.М. Муштари. Естественно, в Казанскую школу входят и другие люди, которые непосредственно с Х.М. Муштари не проводили ис-

следования. Это сотрудники КГУ, КХТИ, КИСИ, КАИ, КГПИ, КФТИ (привожу прежние названия).

В предисловии Эдуарда Ивановича Григолюка, этого последнего корифея теории оболочек и большого знатока истории механики, к книге «Профессор Х.М. Муштари» отмечается:

«Х.М. Муштари был выдающимся специалистом в области теории оболочек..., был главой крупной механической школы в Казани, объединившей многих талантливых ученых, которые имеют уже собственные научные школы. Его ученики представляют собой редкостное объединение ярких и взаимно связанных ученых... В этом огромное счастье и неоценимая заслуга Х.М. Муштари». Чл.-корр. РАН Э.И. Григолюк; 10.02.2001, Москва.

Э.И. Григолюк высказал ряд пожеланий, которые были учтены при окончательной редакции книги. Одно только его пожелание выполнено не было. Он предложил несколько расширить изложение материала и назвать книгу «Казанская школа теории оболочек». Но такая работа была уже мне не под силу.

8. Мы переживаем общее падение престижа науки во всем мире, высокую степень разработанности теории тонкостенных оболочек, невостребованность ее результатов ввиду отсутствия новых разработок в области аэрокосмической техники, авиа-, судостроения и в других областях техники в нынешней полуколониальной России, куда все, вплоть до гвоздей, завозится из-за границы. Это изменило ценности, былую атмосферу в науке. Несмотря на все это, сделанное Казанской школой теории оболочек представляет большой вклад в механику твердого деформируемого тела и сегодня имеет продолжение. Пожелаем, чтобы славный город Казань, который в течение шести десятилетий является одним из важнейших центров развития теории оболочек, таковым оставался и в дальнейшем.